

Aula 12

Flip-Flop – Parte 1

SEL 0414 - Sistemas Digitais

Prof. Dr. Marcelo Andrade da Costa Vieira

Combinacionais X Sequenciais

- **Circuitos Combinacionais:** o valor da saída no instante t depende apenas da combição dos valores das entradas neste instante. Os estados anteriores não interessam.
- **Circuitos Sequenciais:** o valor da saída no instante t não depende apenas dos valores das entradas neste instante, mas também da sequência das entradas anteriores.

Combinacionais X Sequenciais

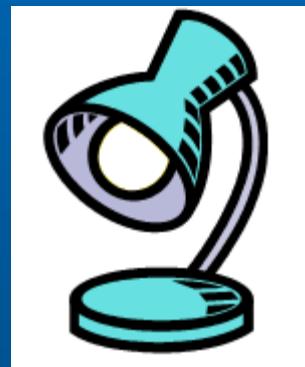
- Nem todos os projetos em sistemas digitais conseguem ser resolvidos utilizando circuitos combinacionais.
- Algumas vezes é necessário o conhecimento de um ou mais estados anteriores e também da sequência anterior para se calcular a saída do circuito.
- Exemplo: Contadores

Exemplo

- Observar uma fileira de 3 lâmpadas;
- As lâmpadas só acendem uma de cada vez;
- Se as lâmpadas acenderem na sequência 1 – 2 – 3, deve-se soar um alarme.



1



2



3

ALARME !

- Não pode ser resolvido utilizando circuito combinatório.

Elemento de Memória

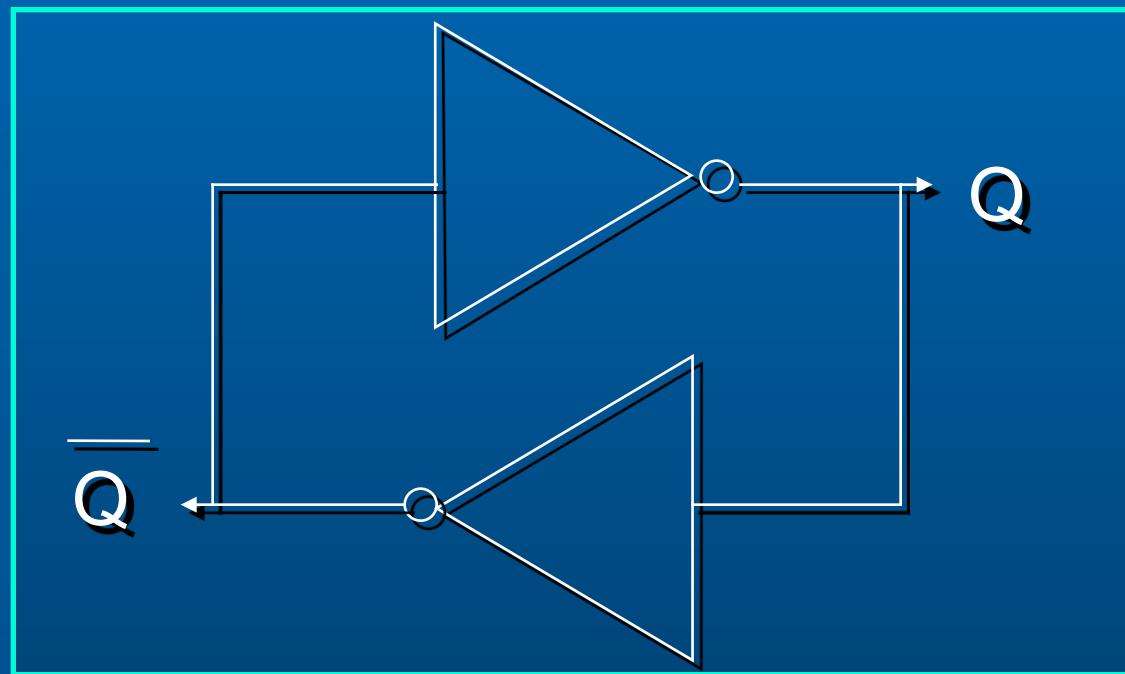
1. Latch* Básico

Latch Estático

2 estados de saída possíveis:

$Q = 1$ (SET)

$Q = 0$ (RESET/CLEAR)



* Também chamado de multivibrador biestável

Elemento de Memória

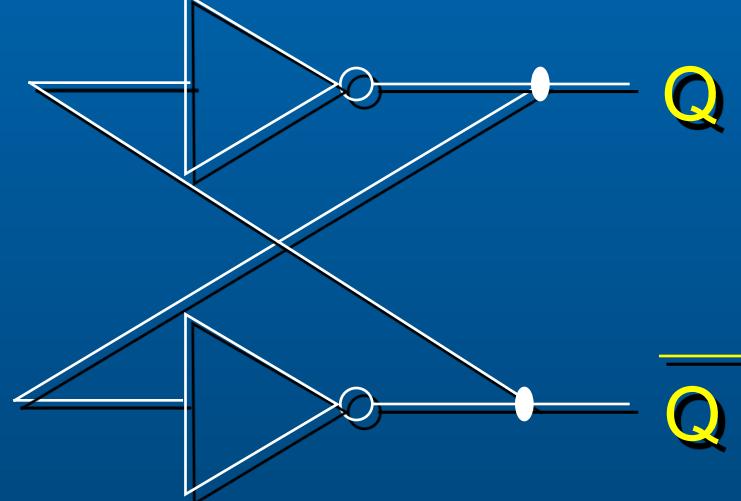
1. Latch* Básico

Latch Estático

2 estados de saída possíveis:

$Q = 1$ (SET)

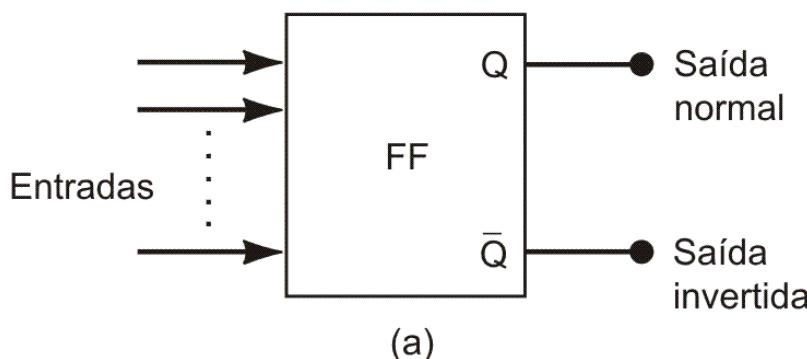
$Q = 0$ (RESET/CLEAR)



* Também multivibrador biestável

2. Símbolo geral de um Latch

2 estados de saída possíveis: $Q = 1$ e $Q = 0$



Estados de saída

$Q = 1, \bar{Q} = 0:$

denominado estado ALTO ou 1;
também chamado de estado SET

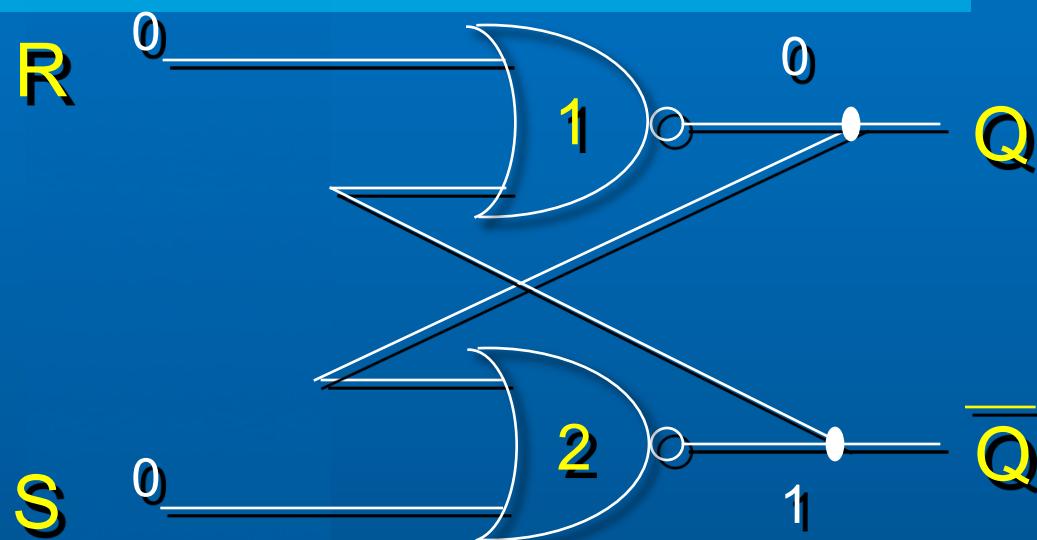
$Q = 0, \bar{Q} = 1:$

denominado estado BAIXO ou 0;
também chamado de estado CLEAR
ou RESET

(b)

Latch RS

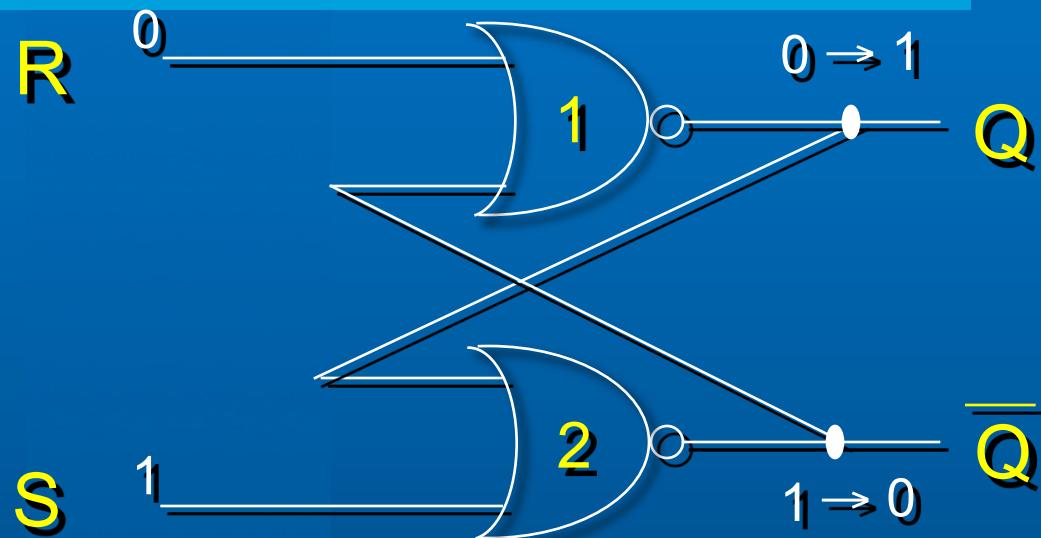
Condição Inicial $\rightarrow Q = 0$



R	S	1	2	Q	\bar{Q}
0	0	0 1	0 0	0	1

Latch RS

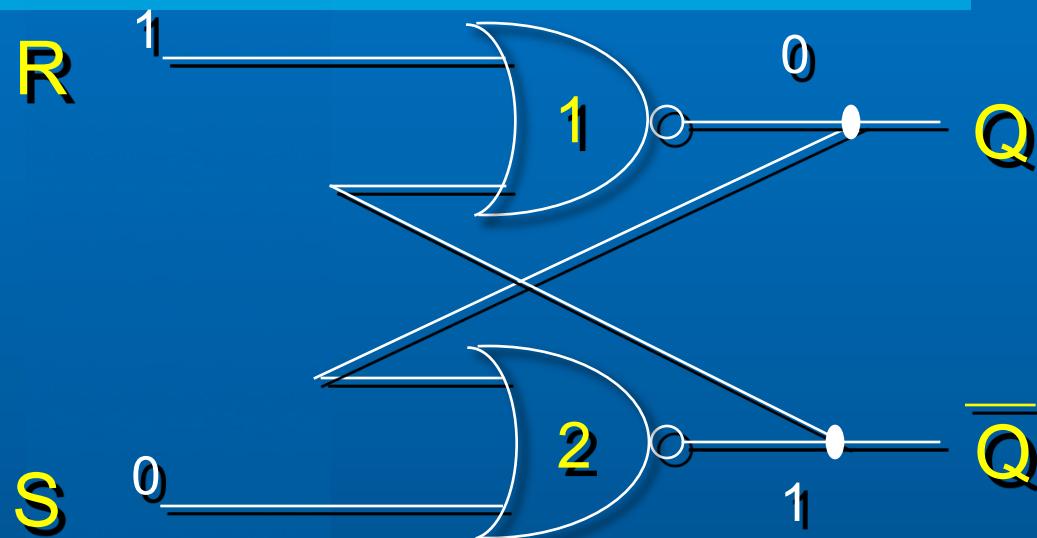
Condição Inicial $\rightarrow Q = 0$



R	S	1	2	Q	\bar{Q}
0	0	0 1	0 0	0	1
0	1	0 0	1 1	1	0

Latch RS

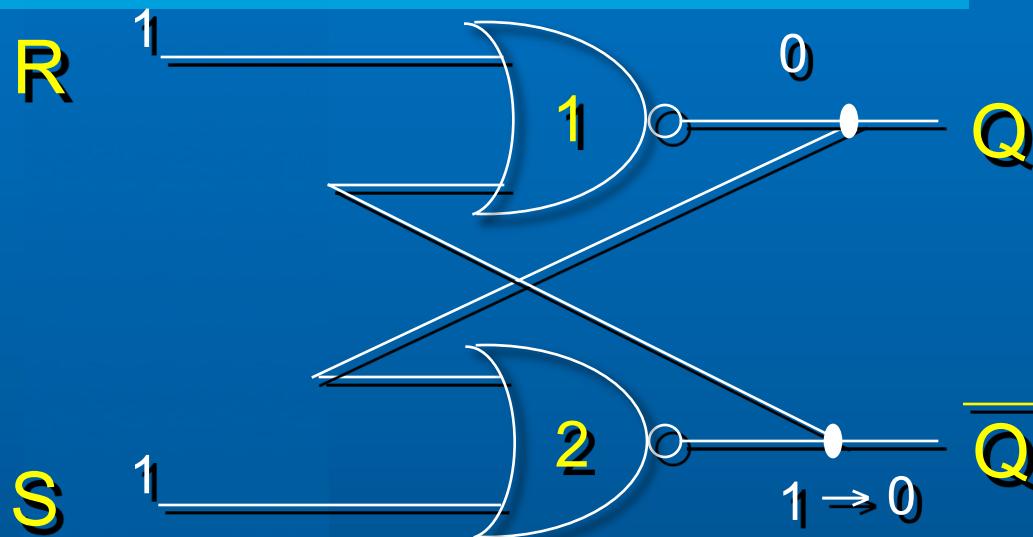
Condição Inicial $\rightarrow Q = 0$



R	S	1	2	Q	\bar{Q}
0	0	0 1	0 0	0	1
0	1	0 0	1 1	1	0
1	0	1 1	0 0	0	1

Latch RS

Condição Inicial $\rightarrow Q = 0$



R	S	1	2	Q	\bar{Q}
0	0	0 1	0 0	0	1
0	1	0 0	1 1	1	0
1	0	1 1	0 0	0	1
1	1	1 0	0 1	0	0

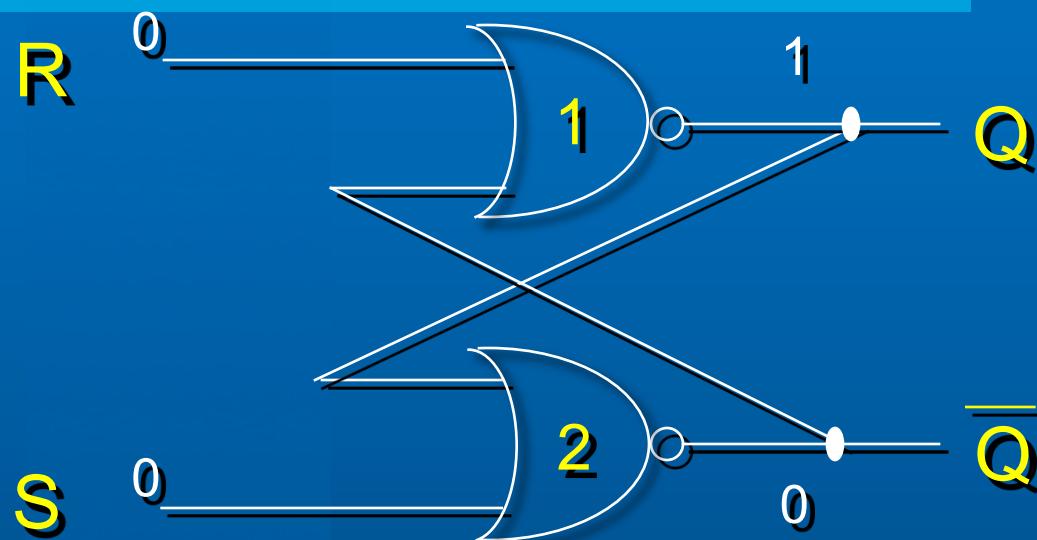
Não é possível prever o próximo estado após esta ocorrência!

“Estado Proibido”
Incompatibilidade

$$Q = \bar{Q}$$

Latch RS

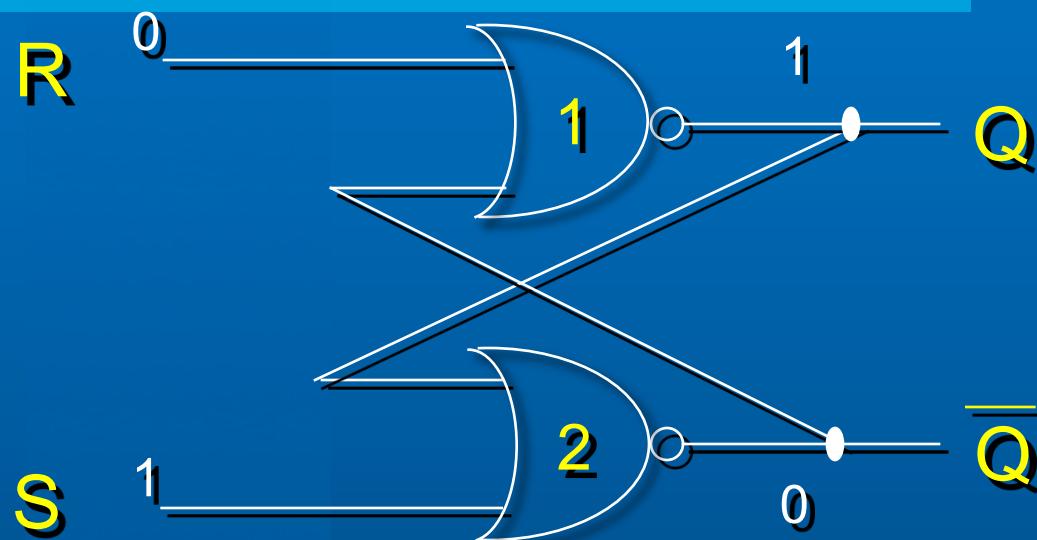
Condição Inicial $\rightarrow Q = 1$



R	S	1	2	Q	\bar{Q}
0	0	0 0	1 0	1	0

Latch RS

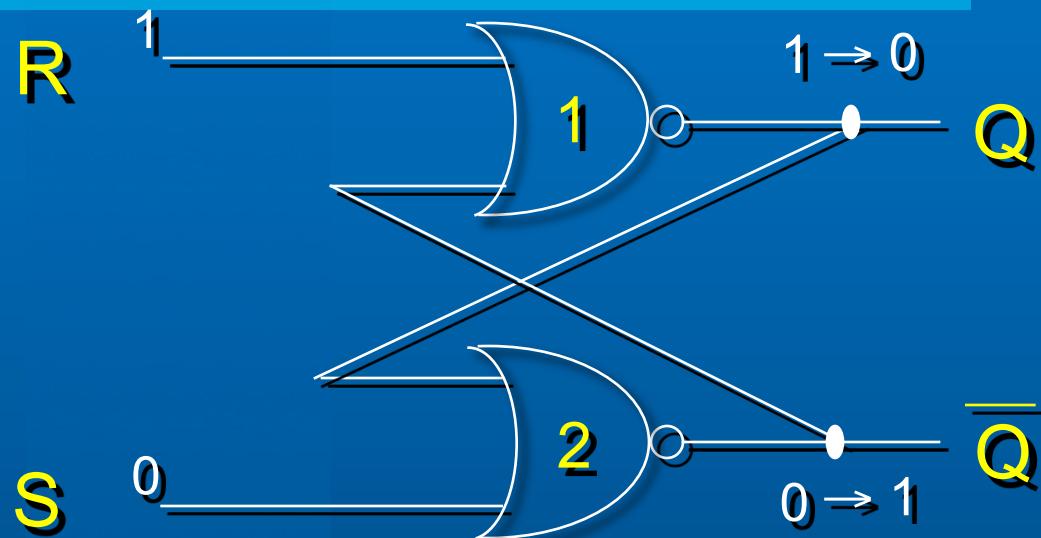
Condição Inicial $\rightarrow Q = 1$



R	S	1	2	Q	\bar{Q}
0	0	00	10	1	0
0	1	00	11	1	0

Latch RS

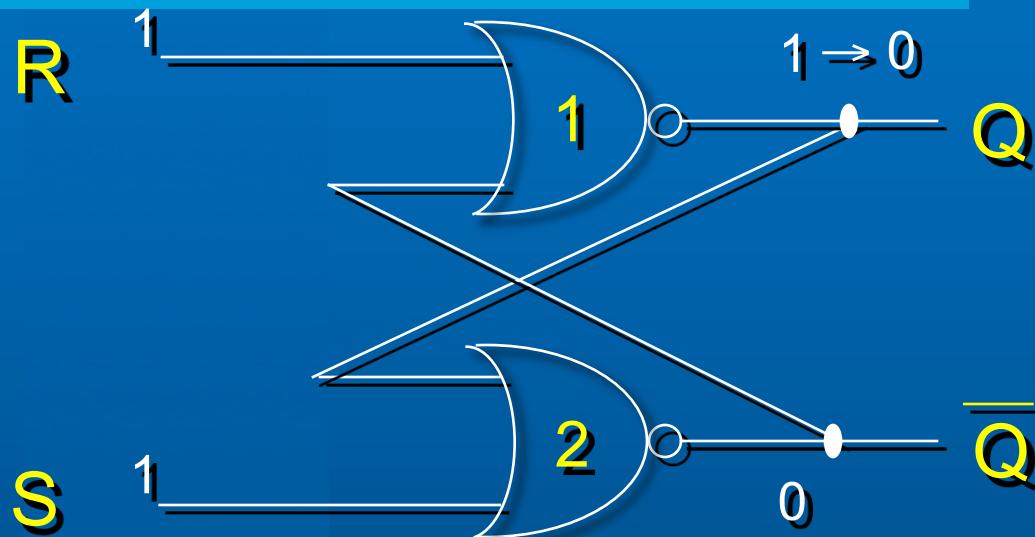
Condição Inicial $\rightarrow Q = 1$



R	S	1	2	Q	\bar{Q}
0	0	00	10	1	0
0	1	00	11	1	0
1	0	11	00	0	1

Latch RS

Condição Inicial $\rightarrow Q = 1$



Não é possível prever o próximo estado após esta ocorrência!

R	S	1	2	Q	\bar{Q}
0	0	00	10	1	0
0	1	00	11	1	0
1	0	11	00	0	1
1	1	10	01	0	0

“Estado Proibido”
Incompatibilidade

$$Q = \bar{Q}$$

Tabela verdade:

Latch RS

$Q = 0$

R	S	Q	\bar{Q}
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	0	0***

$Q = 1$

R	S	Q	\bar{Q}
0	0	1	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	0	0***

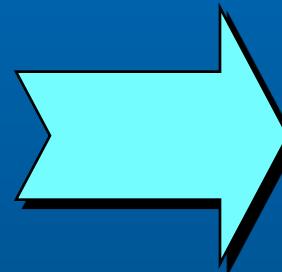
R = Reset

(nível lógico 0)

S = Set

(nível lógico 1)

Mantém o estado anterior



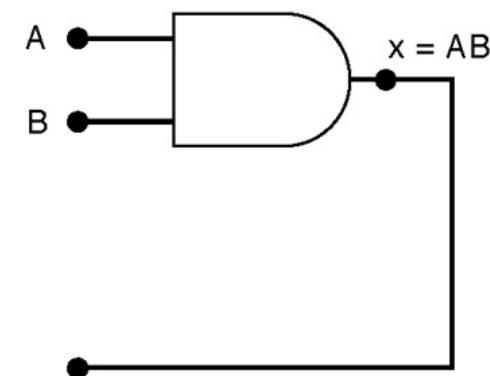
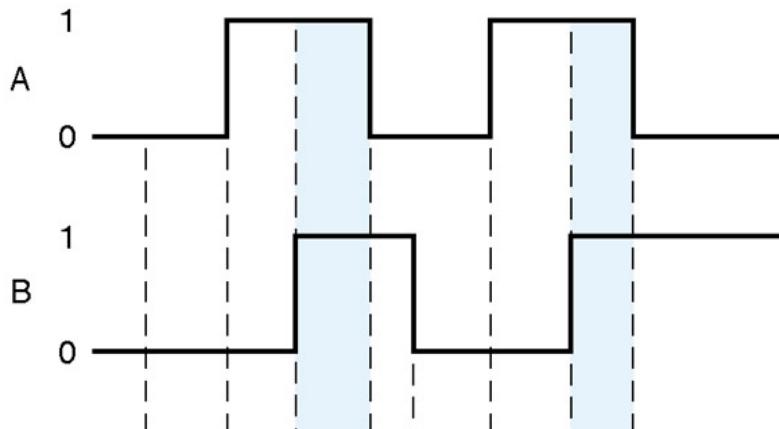
R	S	Q
0	0	Q_0
0	1	1
1	0	0
1	1	0*

* “Incompatibilidade”
(Est. “proibido”)

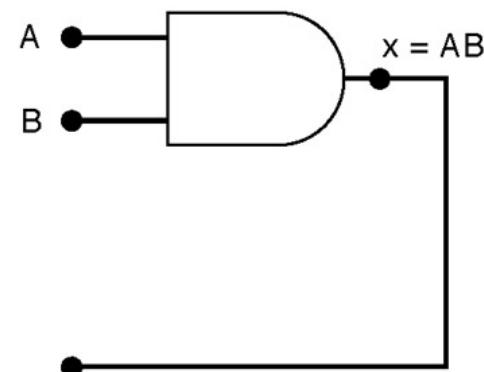
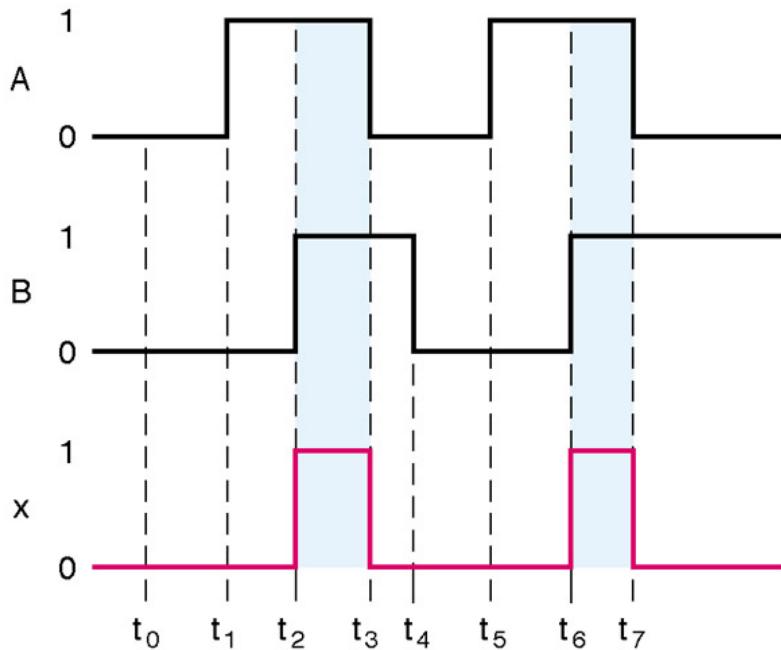
Não é possível prever o
próximo estado após esta
ocorrência.

Diagramas de Tempo de circuitos combinacionais

FORMAS DE ONDA – PORTA AND

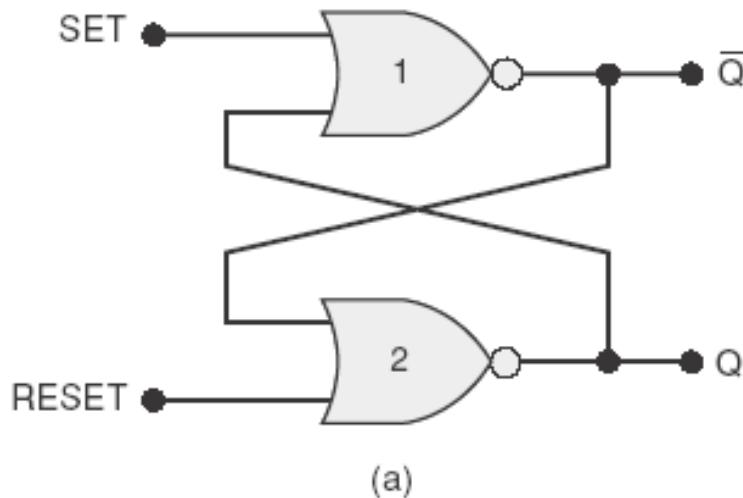


FORMAS DE ONDA – PORTA AND



Diagramas de Tempo de circuitos sequenciais

Esquema Geral de um Latch RS:

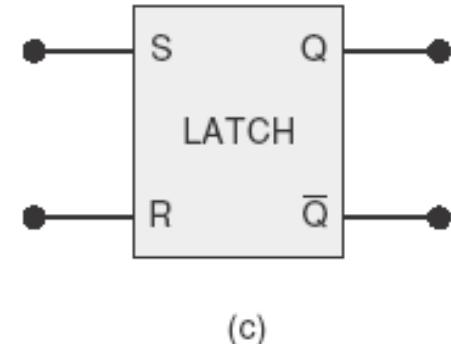


(a)

Set	Reset	Saída
0	0	Não muda
1	0	$Q = 1$
0	1	$Q = 0$
1	1	Inválida*

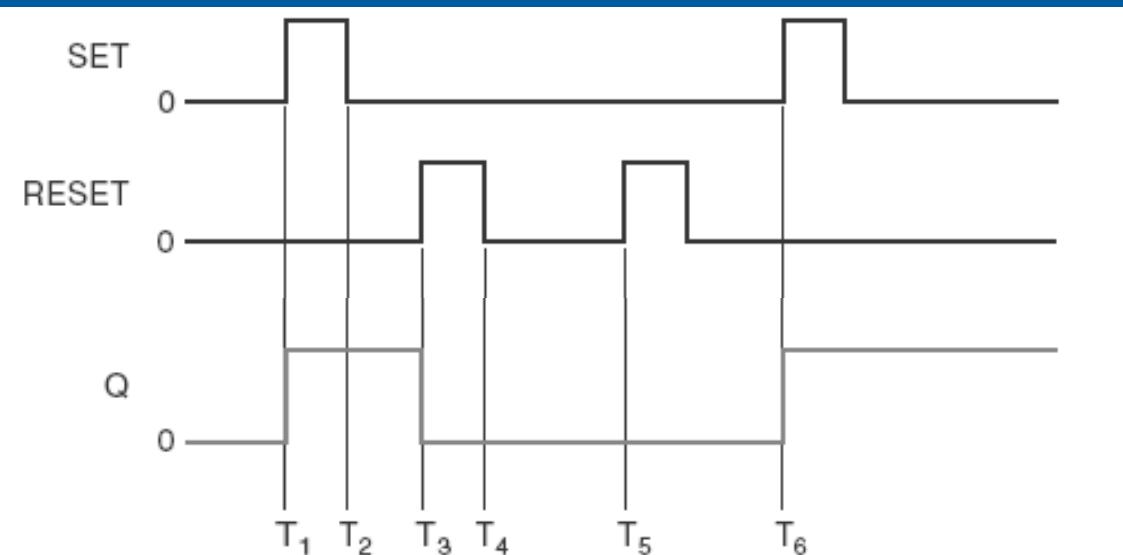
*Produz $Q = \bar{Q} = 0$.

(b)



(c)

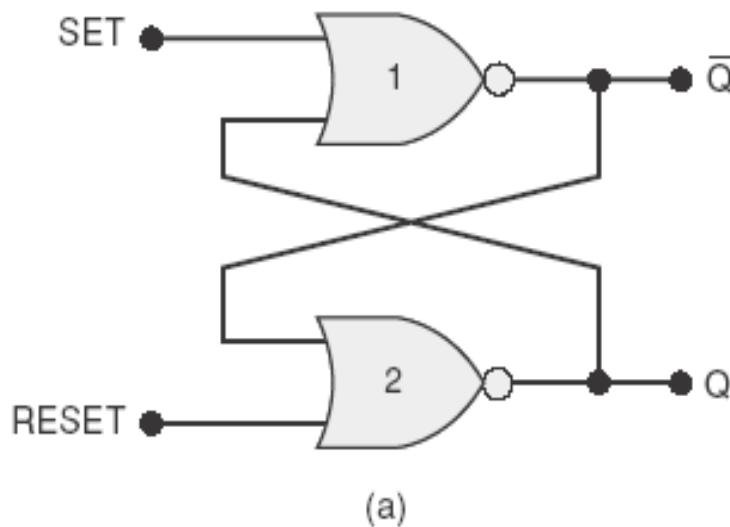
Funcionamento:



Tipos de Latch RS:

Latch RS com portas NOR

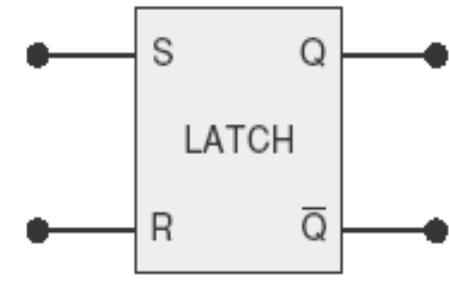
- Set e Reset ativados em nível lógico alto
- Estado proibido: saída = 0 0



Set	Reset	Saída
0	0	Não muda
1	0	$Q = 1$
0	1	$Q = 0$
1	1	Inválida*

*Produz $Q = \bar{Q} = 0$.

(b)

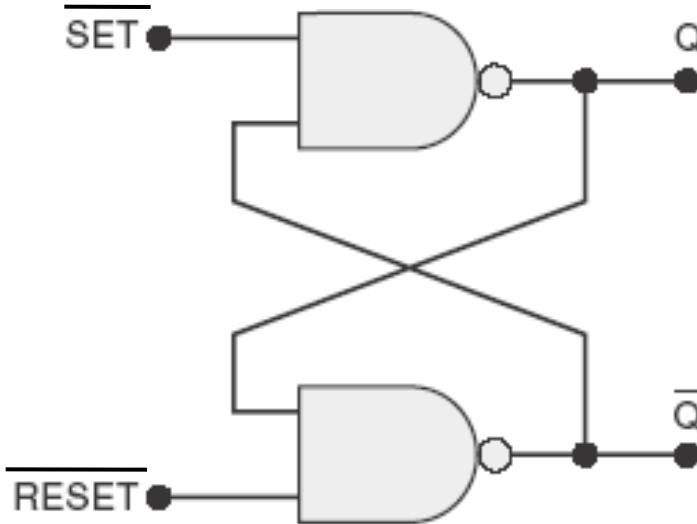


(c)

Outros Tipos:

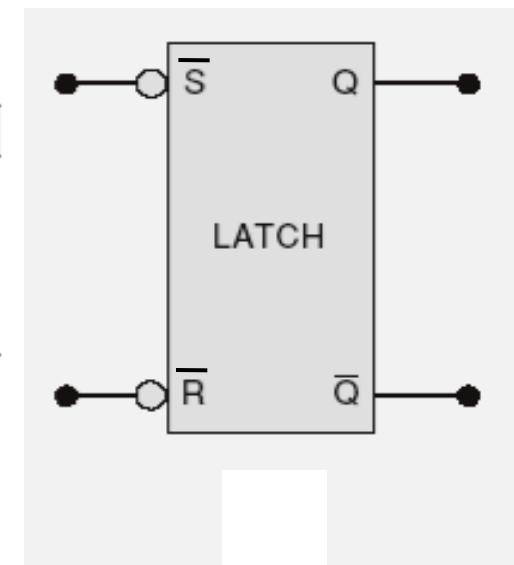
Latch RS com portas NAND

- Set e Reset ativados em nível lógico baixo
- Estado proibido: saída = 1 1



Set	Reset	Saída
1	1	Não muda
0	1	$Q = 1$
1	0	$Q = 0$
0	0	Inválida*

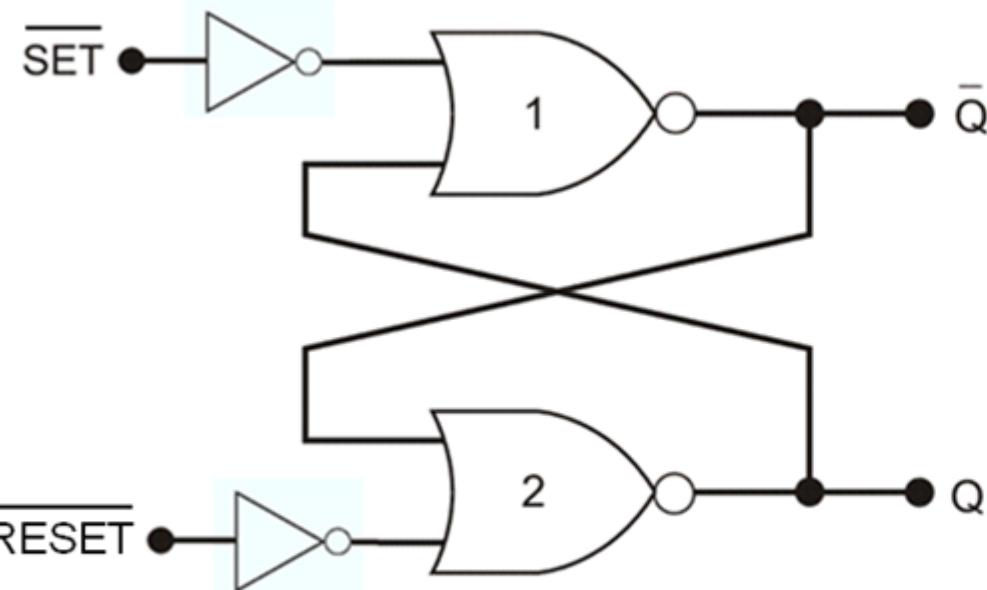
*Produz $Q = \overline{Q} = 1$.



Outros Tipos:

Latch RS com portas NOR + Inversor na entrada

- Set e Reset ativados em nível lógico baixo
- Estado proibido: saída = 0 0



(a)

Set	Reset	Saída
1	1	Não muda
0	1	$Q = 1$
1	0	$Q = 0$
0	0	Inválida*

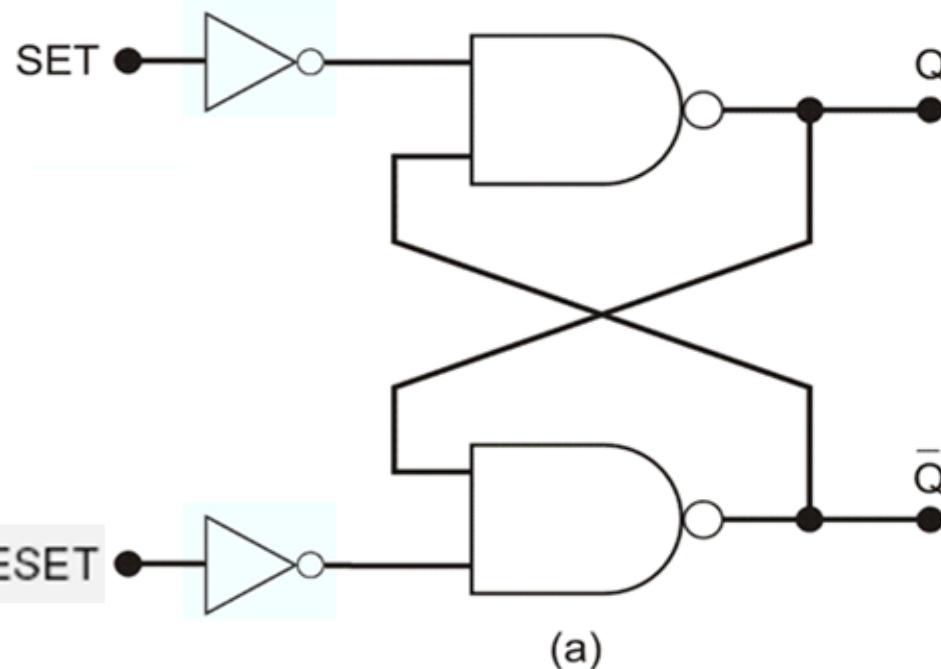
*Produz $Q = \bar{Q} = 0$.

(b)

Outros Tipos:

Latch RS com portas NAND + Inversor na entrada

- Set e Reset ativados em nível lógico alto
- Estado proibido: saída = 1 1

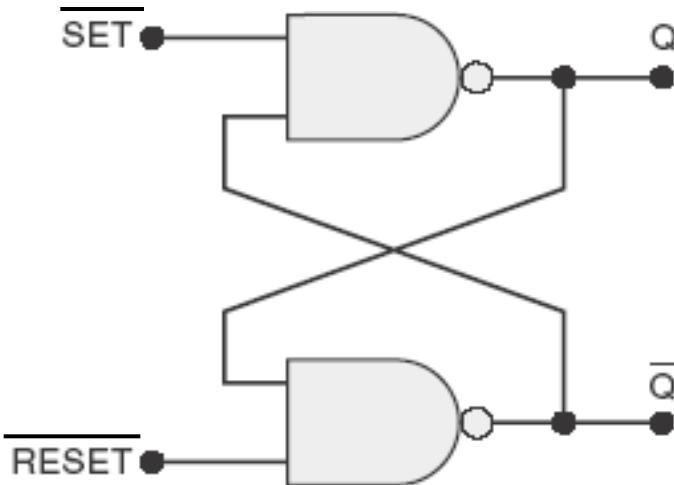


Set	Reset	Saída
0	0	Não muda
1	0	$Q = 1$
0	1	$Q = 0$
1	1	Inválida*

*Produz $Q = Q = 1$

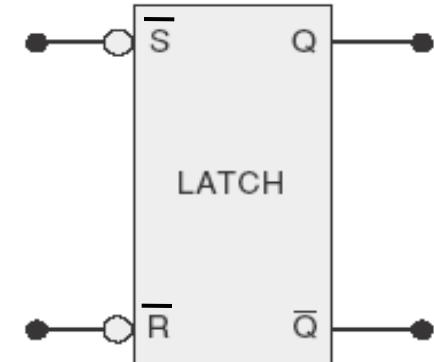
(b)

Latch RS com portas NAND:

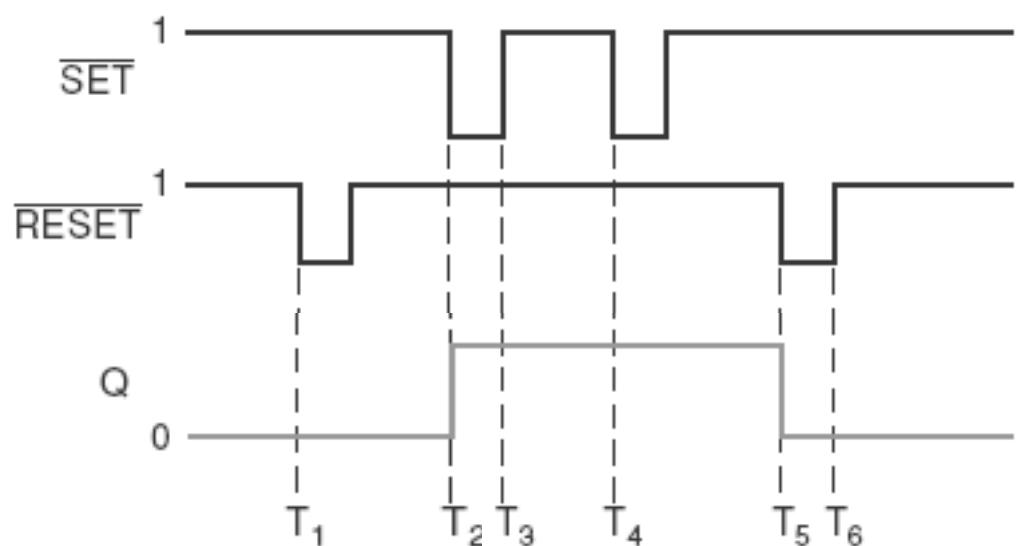


Set	Reset	Saída
1	1	Não muda
0	1	$Q = 1$
1	0	$Q = 0$
0	0	Inválida*

*Produz $Q = \overline{Q} = 1$.



Funcionamento:



Circuitos Sequenciais Síncronos e Assíncronos

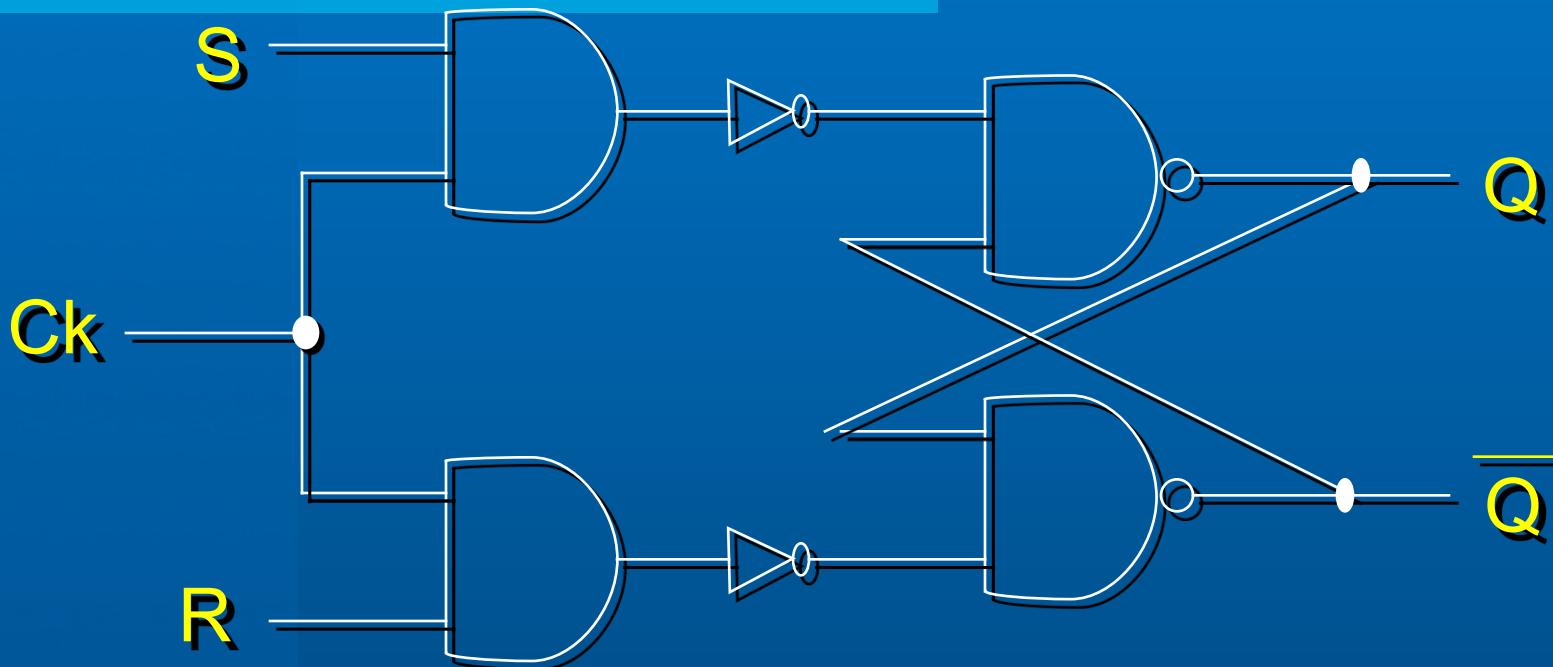
Assíncronos X Síncronos

Os *Circuitos Sequenciais* podem ser divididos em dois grandes grupos:

- Circuitos Sequenciais Assíncronos (Latch):
 - As saídas podem mudar de estado a qualquer momento em que uma ou mais entradas mudarem de estado;
 - Há um atraso entre a mudança na entrada e a alteração da saída;
- Circuitos Sequenciais Síncronos (Flip-Flop):
 - O momento exato em que a saída pode mudar de estado é determinado por um sinal periódico – “clock”;
 - Geralmente um trem de pulsos de onda quadrada;
 - Sensível à nível ou à borda (subida ou descida) do “clock”.

Flip-Flop RS Síncrono

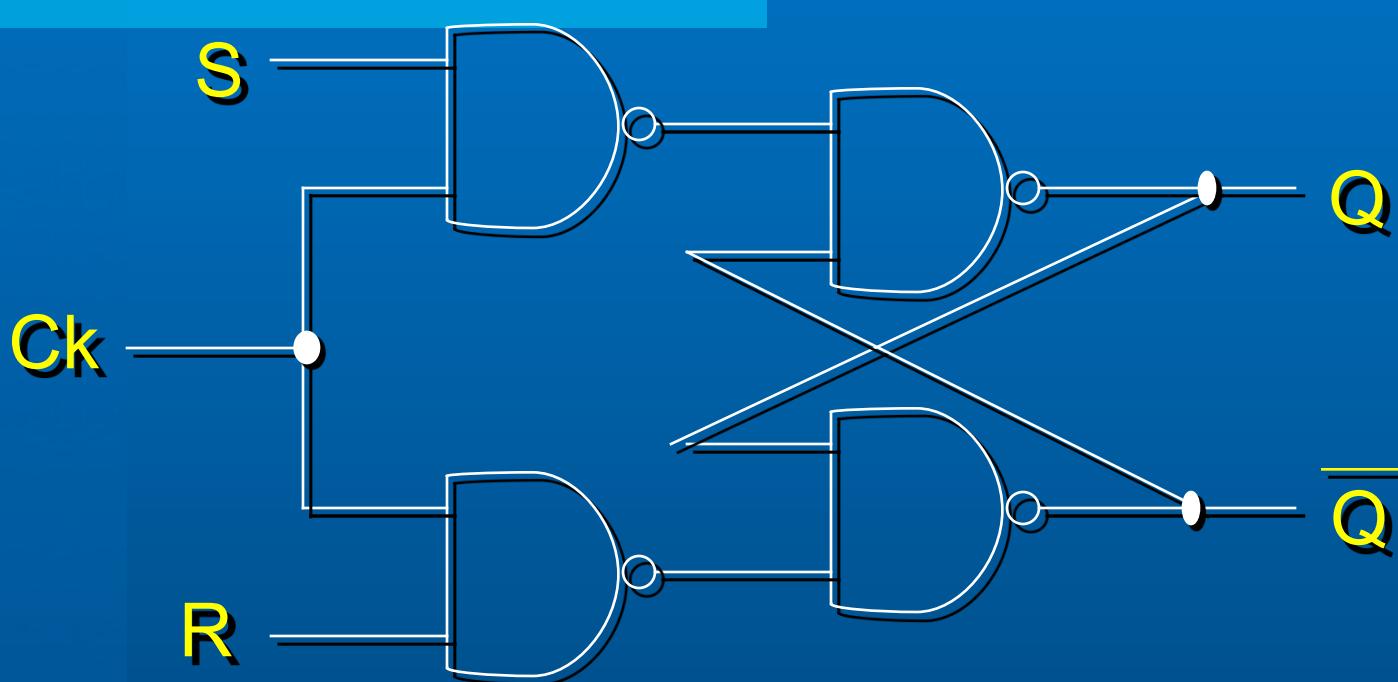
Sensível à Nível



- Para $Ck=0 \rightarrow Q$ e \overline{Q} não “sentirão” eventuais variações nas entradas
- Para $Ck=1 \rightarrow$ funcionamento normal (portas de entrada habilitadas)

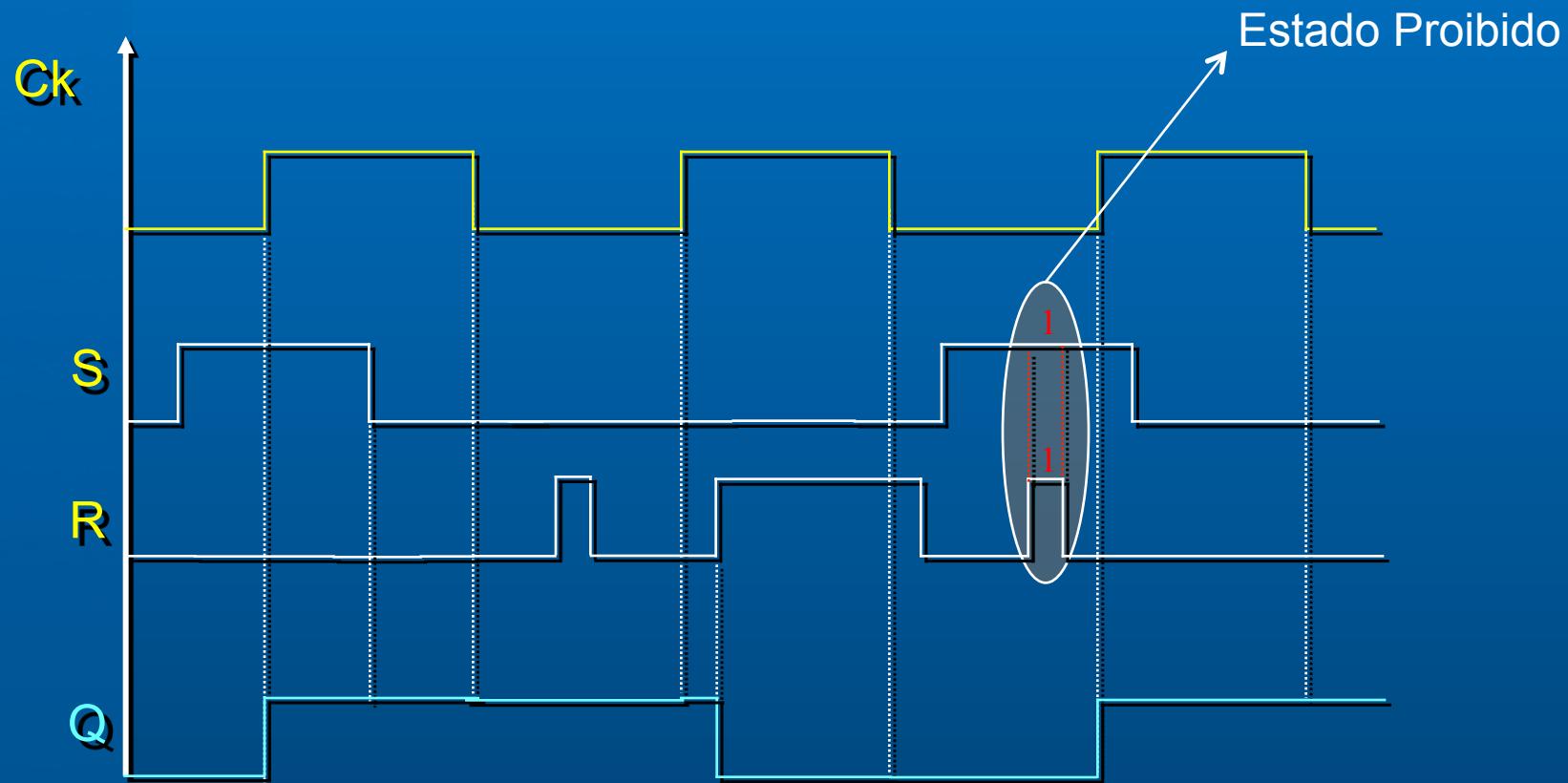
Flip-Flop RS Síncrono

Sensível à Nível



- Para $Ck=0 \rightarrow Q$ e \overline{Q} não “sentirão” eventuais variações nas entradas
- Para $Ck=1 \rightarrow$ funcionamento normal (portas de entrada habilitadas)

FF RS sensível à nível: comportamento



Circuitos Sequenciais Síncronos

• Circuitos Sequenciais Síncronos:

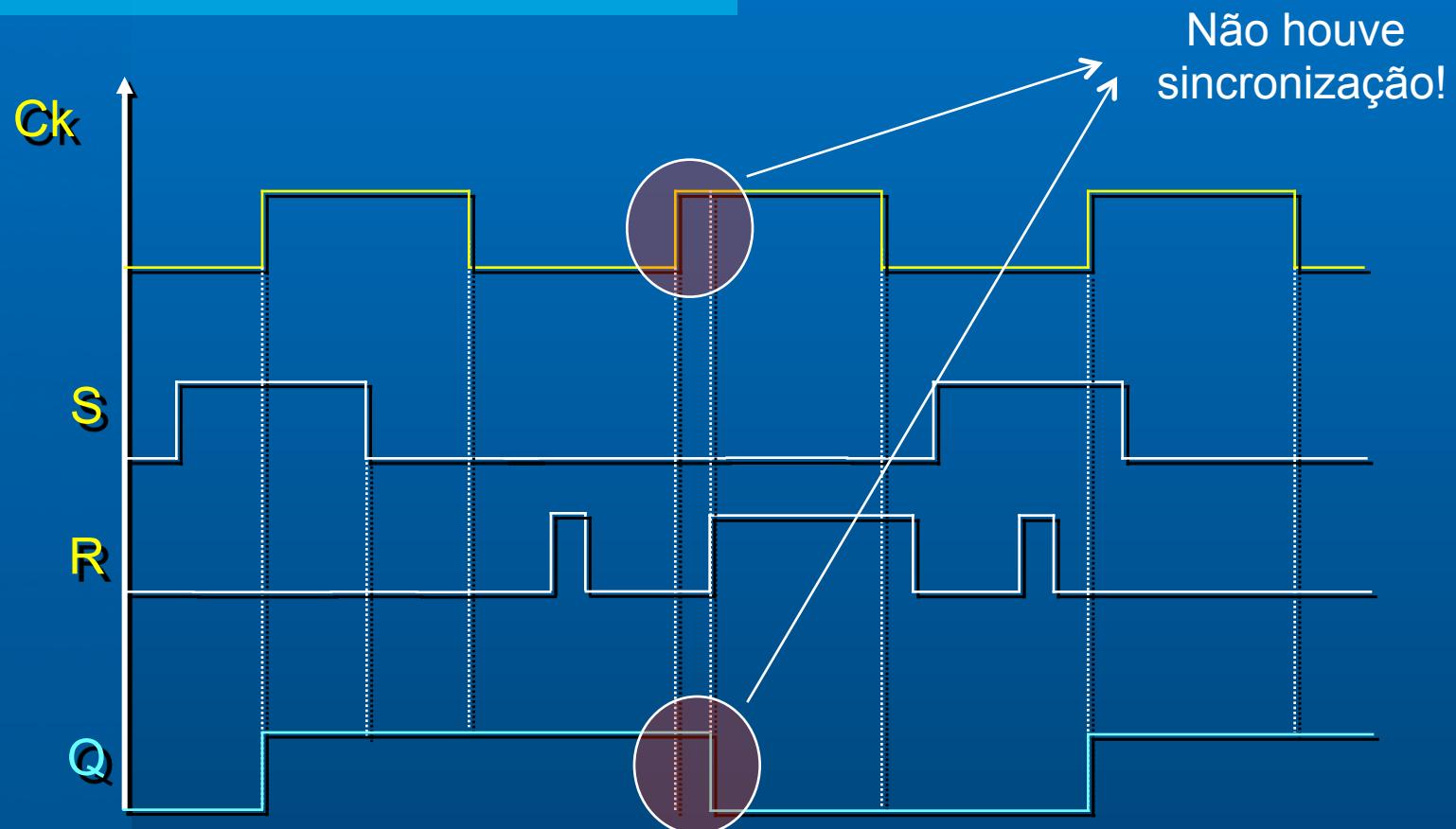
- Em um sistema sequencial completo, que contém vários componentes digitais síncronos, as entradas de alguns deles podem ser ligadas às saídas de outros componentes;
- Todos eles devem seguir o mesmo pulso de *clock*;
- Para que a resposta final do sistema seja confiável, é necessário que cada circuito execute uma operação por ciclo do *clock*.

Circuitos Sequenciais Síncronos

• Circuitos Sequenciais Síncronos:

- Nesse caso, é necessário saber o momento exato da variação do valor de saída de cada componente, ou seja, é necessário que as mudanças sejam sincronizadas com o *clock* do sistema;
- Se o flip-flop for sensível à nível, ele fica “transparente” à mudanças de estado na entrada durante todo o $\frac{1}{2}$ período do *clock*, e a saída pode variar durante esse tempo, fazendo com que a sincronização não seja perfeita.

FF RS sensível à nível: comportamento



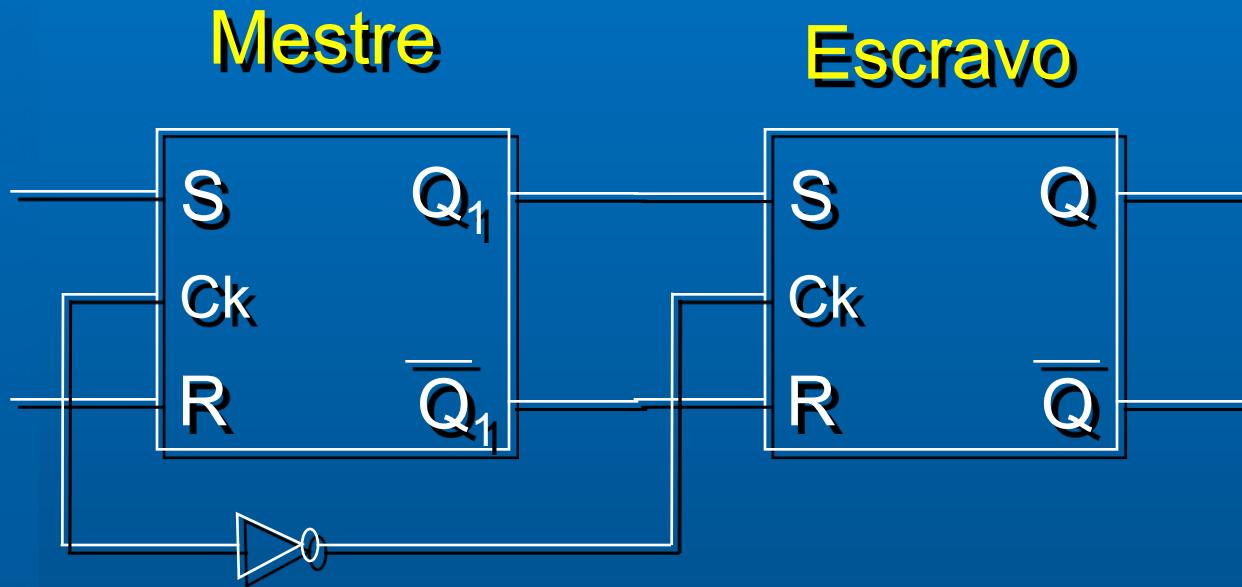
Soluções para sincronização dos os FF síncronos

- Flip-Flops Mestre-Escravo
- Flip-Flops Sensíveis à borda

FLIP-FLOP Mestre-Escravo

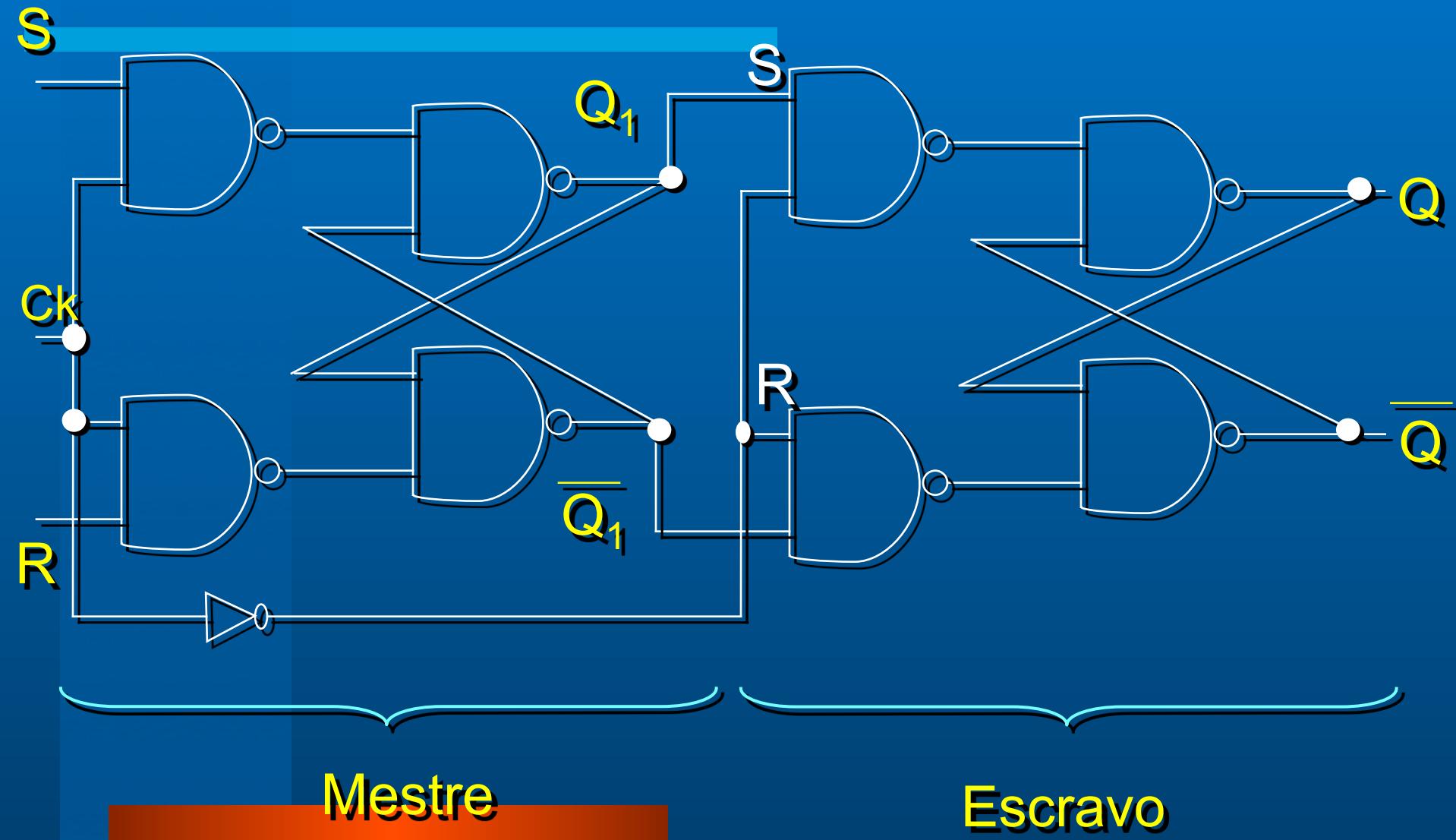
- Resolve o problema de sincronização fazendo com que o FF não altere a saída durante o $\frac{1}{2}$ período do *clock*;
- A mudança na saída só pode ocorrer na transição do pulso de *clock*, e mantém a saída em estado de memória até a próxima transição;
- Consiste em dois FFs individuais interligados de modo que um seja o mestre (*master*) e o outro o escravo (*slave*).

FLIP-FLOP Mestre-Escravo

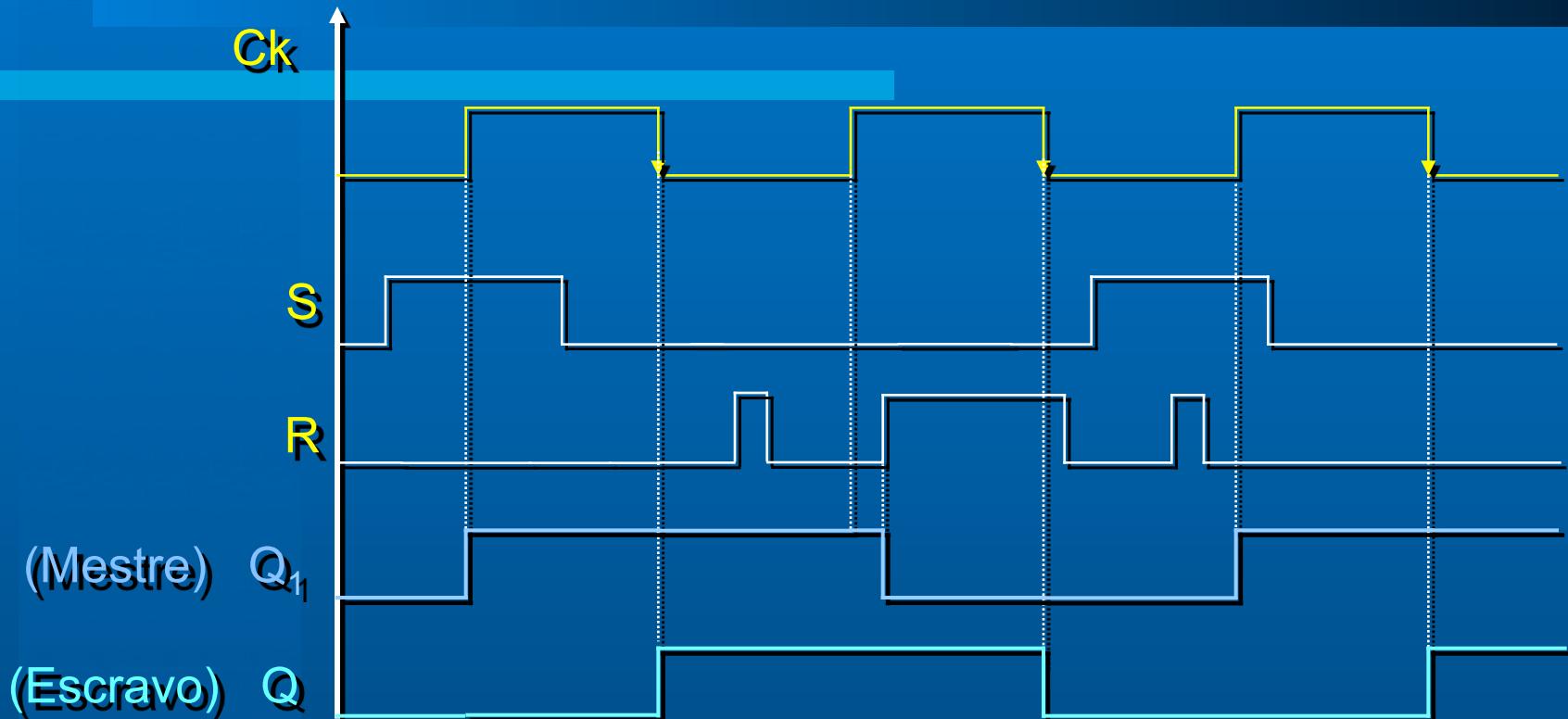


- A saída Q (escravo) copia o valor de Q_1 (mestre) na transição do pulso de clock;
- Só pode ocorrer os estados Set ou Reset na saída, do escravo, pois na entrada dele só poderá ocorrer ($S = 1$ e $R = 0$) ou ($S = 0$ e $R = 1$).

FF RS Mestre-escravo

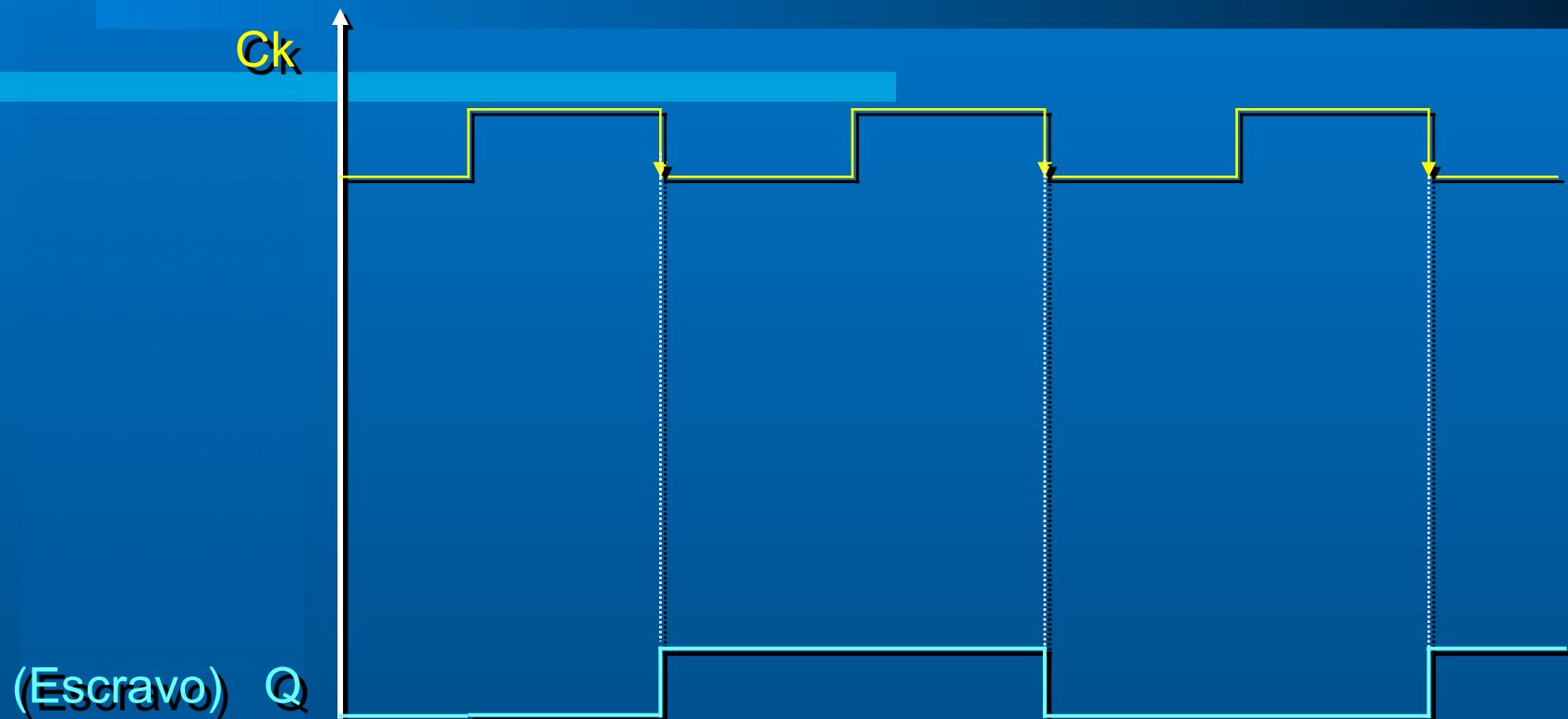


FF RS Mestre-escravo: comportamento



- A saída Q (escravo) copia o valor de Q_1 (mestre) no momento da descida do pulso de clock;
- O valor da saída é mantido durante todo o período do clock (memória), e só pode variar na transição de descida do clock (sincronismo).

SINCRONISMO



Observe o sincronismo entre o pulso de clock e a saída do FF

Problema com o FF Mestre-Escravo

- Apesar de garantir que o estado de saída só se altere na borda de descida do pulso de *clock*, durante o $\frac{1}{2}$ período positivo do *clock*, o estado do FF mestre pode alterar, resultando em operação imprevisível na saída;
- Assim, para um perfeito sincronismo, é necessário garantir que as estradas sejam mantidas extremamente estáveis durante todo o período do *clock*;
- Por isso, atualmente, o FF Mestre/Escravo tornou-se obsoleto, e foram substituídos por FF disparados por borda.

FIM